

소규모 논지대의 관개회귀수량 실측조사 및 분석

Irrigation Return Flow Measurements and Analysis in a Small Size Paddy Area

정 상 옥* / 박 기 중**

Chung, Sang-Ok / Park, Ki-Jung

Abstract

Agricultural water plays an important role in the national water management. Irrigation return flow is the amount of irrigated water that returns to the river system. In the water resources development planing and management, an accurate estimation of the irrigation return flow is very important. In this study, a 5.5 ha small size paddy area in Kyungbuk province is selected and the water balance components are measured during the 2003 growing season. The total irrigation return flow ratio was 53.7%, of which 30.2% was rapid return flow and 23.5% was delayed return flow.

Keywords : return flow, paddy field, evapotranspiration, reservoir

요 지

농업용수는 국가의 수자원 관리에서 매우 중요한 부분이다. 관개회귀수는 농지에 관개한 수량중에서 다시 하천으로 회귀되는 양이며 관개회귀수량을 정확하게 추정하는 것은 수자원 개발 계획과 관리에 있어서 매우 중요하다. 본 연구는 낙동강유역 내의 소규모 논지대에 조사지구를 선정하여 2003년도 영농기간 동안 농업용수 공급량과 배수량을 조사 분석하여 회귀율을 산출하고, 이를 향후 수자원계획의 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다. 조사대상 지구인 경북 청도 녹명지구의 관개기간 중 신속회귀율은 30.2%, 지연 회귀율은 23.5%로 전체 회귀율은 53.7%로 나타났다.

핵심용어 : 관개회귀수량, 논, 증발산량, 저수지

1. 서 론

인구 증가와 산업의 발달, 문명의 발전 등으로 인해서 생활용수와 공업용수 수요가 급증해감에 따라, 상대적으로 농업용수의 개발과 공급은 감소하는 실정에 있으나 용수목적별로 보면 농업용수는 여전히 세계 물 이용량의 70~80%를 차지하므로 중요한 관리대상이다. 우리나라의 농업용수는 타 목적별 용수에 비하여 사용량이 연

중 고르지 못해 주로 6월부터 9월 중순까지 소요되는 용수로서, 농업용수량은 기후, 토양, 관개방식, 용수로시설의 양부, 지하수위 등의 지배를 받으며 시기적, 지역적으로 변동이 많아 정확하게 그 양을 측정한다는 것은 매우 어려운 일이다. 농업용수의 특징은 타용도 용수에 비해 유효수량의 비중이 높다는 것과 회귀수량이 반복 이용됨으로써 반복 이용효율이 높으며 물의 소비기구가 복잡하여 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 중

* 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과 교수

Professor, Dept. of Agricultural Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

(E-mail : sochung@knu.ac.kr)

** 경북대학교 농업토목공학과 박사수료

Ph.D. Candidate, Dept. of Agricultural Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

(E-mail : kjpark0@knu.ac.kr)

류 등의 인자에 크게 영향을 받는다는 것이다.

본 연구는 낙동강유역 내의 논지대에 조사지구를 선정하여 2003년도 영농기간 동안 농업용수 공급량과 배수량을 조사 분석하여 회귀율을 산출하고, 이를 향후 수자원계획의 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

관개지구에 공급된 물의 일부는 배수를 통하여 유출되어 다시 하천으로 흘러가서 재이용되거나 하류로 흘러간다. 한편 관개된 물의 일부는 심층으로 침투하여 지하수체에 도달하여 이층의 일부는 하류의 하천으로 흘러간다. 이와 같이 공급된 관개용수 중에서 작물에 의해 소비되지 않고 배수되는 물을 관개회귀수라고 부른다. 관개회귀수는 지표배수량과 같이 짧은 시간 내에 배제되는 신속 관개회귀수와 토양으로 침투하여 지하수면에 도달한 후 장기간에 걸쳐 서서히 하천으로 유출하는 지연 관개회귀수로 구분할 수 있다.

관개회귀수는 지연회귀수도 포함하기 때문에 정량적인 분석이 어려우며, 현장 계측을 통한 물수지 요소의 정밀한 조사와 수학적인 모델링을 병행하여 해석하여야 한다. 관개회귀수는 포장단위의 회귀수와 유역단위의 회귀수로 구분하여 생각할 수 있다. 회귀율은 회귀량을 관개량으로 나눈 값이다. 유역단위에서의 회귀율은 포장에서의 배수가 환원되어 하류에서 반복 이용되는 것을 모두 고려해 준 것으로 포장단위의 회귀율과는 다르다. 포장단위의 회귀수는 관개량, 송수손실, 침투량, 강우량 등과 밀접한 관계가 있다. 침투량과 송수손실이 일정하다면 회귀수량은 관개량의 크기에 따라서 결정된다.

포장단위의 회귀율은 강우가 없고 물관리가 안정된 시기에 공급된 관개수량에 대한 지표배수나 심층침투를 통하여 하천으로 회귀되는 수량의 비율을 나타낸다. 회귀율(RF)은 신속회귀율(R_1)과 지연회귀율(R_2)로 구성되며 아래 식과 같이 정의할 수 있다.

$$RF = R_1 + R_2 = \frac{Q_2}{Q_1} + \frac{Q_3}{Q_1} \quad (1)$$

여기서, Q_1 은 관개량, Q_2 는 지표배수량, Q_3 은 심층 침투량과 수로손실량 중에서 하류하천으로 회귀하는 양이다.

관개회귀수량의 산정은 대단히 복잡하고, 기상, 작물, 토양 등의 물리적인 요소와 물관리 등의 인위적인 요소 등이 작용하고 있기 때문에 단순한 배수량의 측정만으로는 그 양을 추정하기가 어렵다. 그러므로 관개회귀수량을 추정하기 위해서는 임(2000)과 같이 유역의 관개회귀수량 추정모형을 이용하여 유역을 관개지구와 배후유역으로 구분하고, 배후유역의 횡 유입량과 관개지구 배수량 및 지하수 유출량으로부터 하천 유출량을 모의

하여, 하천 유출량 중에서 관개용수의 공급으로 인한 회귀수량을 산정하여야 한다. 특히, 관개용수의 침투에 의한 지하수 유출은 관개가 종료된 이후에도 오랫동안 발생하므로, 비관개 기간을 포함하여 장기간 동안 수문 관측 및 모델링을 실시하여야 한다.

한편, 미국과 같이 발관개가 주로 이루어지는 곳에서는 지표배수는 일반적으로 크지 않다. 미국의 Council for Agricultural Science and Technology(1988)에 의하면 심층침투량이 지하 대수층에 도달한 후에 우물에 의하여 이용될 수 있다면 이는 회귀수량으로 본다고 정의하였으며 회귀율도 같은 개념으로 정의하였다.

2. 연구사

농업용수 회귀수에 대한 연구는 국내·외를 통틀어 별로 많지 않다. 우리나라에서는 1990년대 후반에 건설교통부 주관으로 지방국토관리청과 한국건설기술연구원에서 4대강 유역 하천수 사용실태 조사의 일부분으로 농업용수 회귀율 조사를 실시한 것이 체계적인 조사의 시작이라고 할 수 있으며, 대부분이 지표배수를 기준으로 회귀율을 산정하였다. 최와 최(2002)의 한강유역 조사에서는 지연회귀율도 포함하였다. 그러므로 농업용수 회귀율에 대한 체계적인 연구가 아직 미흡한 실정이라고 볼 수 있으며 지금까지의 연구 결과로부터 어떤 결론을 도출하기는 어렵다고 하겠으며, 앞으로 이 분야에 대한 심도 깊은 연구가 이루어져야 할 것이다.

표 1은 우리나라의 관련분야 연구실적이며 앞의 5개 연구는 건설교통부 주관으로 각 지방국토관리청과 한국건설기술연구원에서 수행한 4대강 유역 하천수 사용실태 조사의 일부분이며 조사 대상 논 구역의 면적은 62ha~171ha 이다. 회귀율은 대부분의 연구에서 지표배수량만을 고려하여 신속회귀율만 조사하였다. 지표배수를 기준한 회귀율은 33.8%~70.8%를 나타내었다.

농어촌진흥공사(1999)는 농촌용수 수요량 조사연구에서 우리나라 15개 농촌 대표용수구역에 대하여 유역단위의 농업용수 회귀율을 추정하였다. 이 연구는 모형을 이용하여 유역 전체에 대하여 유출량, 관개량, 증발산량 등을 산정하여 회귀율을 추정하였다. 물론 유역내의 반복이용이 모두 고려되었다. 관개면적이 202ha~4,083ha 인 대상유역에 대하여 유역단위 회귀율을 추정하였다. 회귀율은 1.3%~23.5%를 나타내었으며 2개소를 제외하고는 4.5%~9.8%의 범위를 보여주었다.

일본에서는 주로 광역 관개지구에 대하여 회귀율 연구를 수행하였다. 미국에서의 관개회귀수 관련연구는 유역 또는 밭에 대하여 수행되었고, 이 분야의 연구는 크게 두 가지 관심 분야로 구분되는데 첫째는 관개회귀

표 1. 농업용수 회귀율 기존 연구결과

연구기관 (연구자)	지 구	조 사 기 간	구역면적(ha)		논토양	용수원	회귀율(%)		
			전체	논			신속	지연	계
부산지방 국토관리청 (정상옥)	경북 청도군 운문면	'97. 5~'97. 9	111.0	70.2	양토, 경식토	운문댐	33.8	-	33.8
부산지방 국토관리청 (이근후)	경남 진주시 사봉면	'97. 6~'97. 9	103.7	103.7	미사질 양토	마성양수장	70.5	-	70.5
서울지방 국토관리청 (박승우)	경기 화성 기천	'98. 4~'98. 9	270.7	68.0	사양토	기천저수지	35.7	10.2	45.9
	경기 화성 발안	'98. 4~'98. 9	497.6	133.8		발안저수지	14.8	30.6	45.4
대전지방 국토관리청 (김태철)	충남 공주 소학	'99. 5~'99. 9		70.3	양토	금강분류	40.0	-	40.0
	충남 연기 대평	'99. 5~'99. 9		171.0	양토	금강분류	38.1	-	38.1
익산지방 국토관리청	전남 담양 개동	'99. 5~'99. 9	77.4	65.2	실트질 양토	개동양수장	40.8	-	40.8
	전북 남원 금풍	'99. 4~'99. 9	114.8	95.0	실트질 양토	귀석양수장	51.2	-	51.2
건설교통부 수자원공사 건설기술연구원	영산강 유역					저수지			51.7
						양수장·보			23~50
(주)도화종합기술 공사 (최중대)	충북 음성	02. 5~02. 9		14.8	양토	저수지	0.4	17.6	18.0
	충북 충주	02. 5~02. 9		10.6	양토	취입보	60.4	5.9	66.3
	강원 신동	02. 5~02. 9		7.1	사질 식양토	저수지	20.4	50.4	70.8
	강원 천전	02. 5~02. 9		1.5	사질 식양토	저수지	3.7	49.6	53.3
김태철 등	충남 예산군	1966~1993	8,788			예당저수지			69.3
		1994~1996	6,900						

수가 갈수기 때 하천유량에 얼마나 기여하는가이고, 둘째는 관개회귀수가 수질에 미치는 영향에 관한 것이다. 외국의 연구성과는 우리와 실정이 다르고 특히 미국의 경우에는 밭과 지하수를 주 대상으로 하기 때문에 우리나라에 적용하기는 어렵다. 국외의 관개회귀수 관련연구는 논농사가 주인 동남아시아 지역과 밭농사가 주인 미국으로 나누어 조사하였다. 이웃 일본에서는 광역지구에서 회귀율 조사를 수행하였으며, 미국에서는 관개회귀수가 하천 갈수량에 미치는 영향과 수질에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

Ito 등(1980)은 수계단위에서 Volterra 적분방정식을 이용한 다중회귀식을 만들어 논이 유출특성을 분석하였다. 다중회귀식과 실측자료로부터 산정한 논에서의 회귀율은 49.3%라고 보고하였다. Yashima(1982)는 Malaysia의 Muda 관개지구에서 토양수를 포함하여 포장 물수지를 분석하였으며 포장에 공급된 관개량의 46.3%는 증발산으로 이용되었고 48.6%가 배수되었다고

보고하였다. Bold 등(1999)은 미국 중서부 지방의 곡창지대인 Nebraska주 Platte강 유역의 밭 관개지구에서 관개방식에 따른 회귀수량을 추정하고, 수자원의 효율적 관리방안을 수립하기 위하여 작물 생육 모형과 관개모형을 개발하고, 이로부터 관개량, 작물수확량, 회귀수량 등을 추정하였다. 심층 침투량을 회귀수량으로 보았으며, 센터피벗 스프링클러 관개에서는 관개량이 370mm, 회귀량이 60mm로 회귀율은 16%이었고, 고랑 관개에서는 관개량이 500mm, 회귀량이 230mm로 회귀율 46%이었다. 즉 관개량이 많은 관개방식에서 높은 회귀율을 보여주었다. Oad 등(1997)은 미국 서부지역의 물 소비량 중에서 많은 부분을 차지하고 있는 잔디의 관개용수에 대한 회귀수량을 조사하였다. 이 연구에서의 회귀수량의 정의는 심층침투량을 뜻한다. 이 연구에서는 lysimeter를 설치하여 강수량, 관개량, 배수량 및 토양수분의 변화량을 측정하고, 물수지식을 이용하여 증발산량을 추정하였으며 심층 침투량을 이용하여

회귀수량을 추정하였다. 또한 lysimeter 실험자료를 이용하여 관개량으로부터 회귀수량을 추정하는 경험식을 개발하였다. Solley 등(1998)은 미국내의 수자원을 평가하기 위하여 용수목적별로 물 사용량을 조사하였으며, 1995년에 미국의 전체 물 사용량 중에서 농축산용수가 40.9%를 차지하고 있으며, 이 중에서 지표수 사용량은 63.2%, 지하수 사용량은 36.8%이다. 또한, 농축산용수의 회귀율은 39.3%로 조사되었다.

3. 시험지구

농업용수 회귀율은 대규모 유역단위 또는 소규모 필지단위로 산정할 수 있다. 대규모 유역단위의 회귀율 조사는 많은 관측기와 인력이 소요되므로 많은 예산이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 소규모 논 유역에 대한 회귀율 조사를 수행하였다. 본 시험지구 선정기준은 유역의 농업 특징을 잘 나타낼 수 있는 대표적인 지구, 경지정리가 되었으며 용수로와 배수로 조직이 단순하여 관개량과 배수량을 안정적으로 측정할 수 있으며,

외부 유역으로부터의 지표수 유입이나 지하수 용출이 없는 지구라야 한다. 이러한 조건을 고려하여 경북 청도군 각남면 녹명리에 위치한 5.5ha의 논지역을 시험지구로 선정하였다. 청도 녹명지구도 벼 단일작으로 용수관리는 농업기반공사 경산지사 관리구역으로 일용직 인부가 담당하였다. 토성은 미국 농무성(USDA)의 삼각분류법에 의하면 식양토(clay loam)에 해당된다.

청도 녹명지구 용배수 계통도는 그림 1과 같다. 본 조사구역의 특성은 낙동강 유역의 소규모 농경지대로 구획크기는 0.3ha(30×100m)의 소구획 지구이며, 용·배수가 분리되어 있으며, 용수로는 콘크리트 수로이고 배수로는 흙수로에 호안블록 라이닝을 하였다. 평상시에는 사리저수지의 물이 공급되며 가물어서 사리저수지의 물이 충분하지 못하면 보조수원공인 구만저수지의 물이 공급된다. 두 수원공에서 공급되는 물은 조사구역 상류부의 관개용수 지거로 유입되며 조사구역의 좌우측 경계부분에 설치되어 있는 용수지거를 통하여 논에 물을 공급하게 되며 중앙의 배수로를 통하여 배수된다.

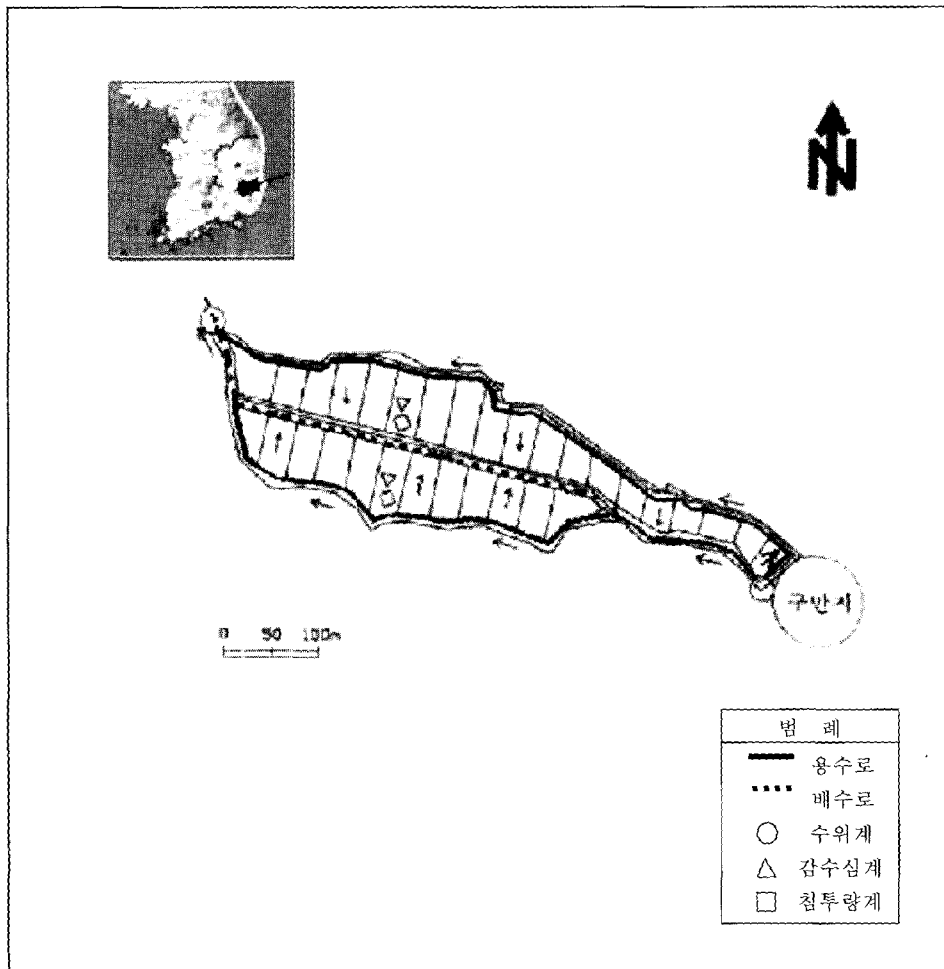


그림 1. 녹명지구 용배수 계통도

4. 조사방법 및 조사결과

논의 회귀율 산정을 위해서는 관개량, 배수량 및 심층침투량을 조사하여야 한다. 지표배수량이 신속회귀량이 되며, 심층침투량이 언젠가는 모두 하천으로 유출한다고 보면 지연회귀량이 된다. 일반적으로 지금까지는 신속회귀량을 중심으로 회귀율을 조사하여 왔다. 그러나 전체적인 논에서의 물수지를 검토하기 위하여 일반적으로 논에서의 물수지 항목을 모두 조사한다. 본 연구에서의 조사항목은 기상자료, 관개량 및 배수량, 침투량, 증발산량, 회귀수량 등이며, 증발산량은 감수심과 침투량 관측치로부터 계산하였다.

조사지구의 주요 재배 벼 품종은 대안과 일품이었으며 영농관리는 5월 상순에 못자리를 만들고 6월 상순에 이앙하였으며 9월 중순에 용수공급을 중지하였다.

4.1 기 상

강우량은 시험지구에 인접한 청도군 각남면사무소의 자기우량계에 의해 관측된 자료를 이용하였으며, 이들 강우 자료의 검정을 위해 시험지구에 별도의 간이우량계를 설치하였다. 강우 자료 이외에 기온, 일사량, 풍속 등의 기상자료는 시험지구에서 가장 가까운 거리에 위치한 대구기상대의 자료를 이용하였다.

표 2는 2003년 생육기간 동안의 관측지점별 일별 강우량을 보여주고 있다. 2003년도 생육기간 동안의 기상 특성은 예년에 비해 강우일수와 강우량이 매우 많고 일조량은 매우 적었으며, 특히 7월 상순에는 연속적인 장마로 녹명지구는 271.5mm의 많은 강우로 인해 논이 물관리가 안정되지 않아 분석에서 제외하였다.

표 2. 관측기관별 순별 강우량 자료

(단위 : mm)

순별	대구 기상대	청도군 각남면	
		면사무소	현장
6월	상	0.0	0.0
	중	106.0	134.0
	하	62.5	55.5
	소계	168.5	189.5
7월	상	257.6	271.5
	중	158.5	171.5
	하	119.5	88.0
	소계	535.6	531.0
8월	상	15.0	74.0
	중	9.5	9.0
	하	55.4	88.0
	소계	195.4	290.0
9월	상	83.2	60.5
	중	209.0	305.5
	소계	292.2	366.0
합계	1,191.7	1,376.5	1,351.2

표 3. 생육기간의 2003년도 및 과거 30년(1971-2000)의 기상자료 비교 (대구기상대)

구 분	6월		7월		8월		9월	
	2003	30년	2003	30년	2003	30년	2003	30년
평균기온 (°C)	22.2	22.5	22.5	25.7	25.0	26.1	22.1	21.3
상대습도 (%)	67.1	67.6	80.0	74.3	75.1	74.0	74.2	72.0
평균풍속 (m/s)	2.3	3.0	2.4	2.9	2.1	2.9	2.2	2.5
강우량 (mm)	168.5	140.7	535.6	206.7	195.4	205.8	292.2	129.6
일조시간 (h)	142.9	184.4	91.2	161.8	119.3	173.7	133.3	170.3

표 3은 대구기상대의 자료로부터 영농기간인 6월부터 9월까지 2003년도의 관측값과 1971년부터 2000년까지 30년간의 평균값을 비교하였다. 2003년 7월의 평균 기온이 30년 평균값 보다 3.2°C 낮았다. 장수량은 2003년 7월과 9월에 각각 535.6mm와 292.2mm로 예년에 비해 2배 이상 많았다. 일조시간은 2003년 7월과 8월에 매우 낮게 나타났다. 2003년은 전 관개기간에 걸쳐 잦은 강우로 인하여 저온 및 일조시간 부족으로 벼 생육에 불리한 기상을 나타내었다.

4.2 관개량 및 배수량

논벼 재배를 위한 용수 공급량은 지역별, 시기별로 차이를 보이며, 관개량은 작물의 생육단계에 따라 시기별로 많은 변화를 보인다. 필요에 따라서 벼 생육 중반기에 뿌리의 성장과 토양산소의 공급을 위하여 일주일 내지 10일 정도 중간낙수를 수행하여 논 표면이 갈라질 정도까지 건조시킨다. 그러나 농부의 관습에 따라서 중간낙수를 하지 않는 경우도 많이 있다. 중간낙수와 최종낙수 방법은 물관리 방법에 따라 달라질 수 있다. 좋은 물관리에서는 낙수 직전의 관개 용수가 자연히 소모되도록 하여 별도의 배수가 없이 하는 방법이고 다른 방법은 임의로 관개한 후에 필요에 따라서 논 표면을 강제로 배수시켜서 낙수하는 방법이 있다. 본 조사지역에서는 중간낙수를 실시하지 않았다. 최종 낙수는 논 표면이 자연히 소모되도록 하여 별도의 배수가 없이 하는 방법을 사용하였다. 관개량과 배수량은 강우가 없고 물관리가 안정된 기간에 대하여 분석하

였다.

수위관측은 용수위가 한 지점에서 시작하므로 시점 1개소에 압력식 수위계(WL-15)를 설치하고, 배수로 말단 1개소에 Thalimedes(독일 OTT사 제품) 부표식 기록형 수위계를 설치하여 30분 간격으로 측정하였다. 유량산정은 수위계 설치지점에서 전자식 유속계를 이용하여 관개기간동안 약 1주일 간격으로 수위별 유속을 측정하였으며, 수위-유량관계식을 도출하고 관측 수위로부터 유량을 계산하였다.

그림 2는 녹명지구의 관개수로 시점과 배수로 말단 지점에서의 수위를 나타낸 것이다. 그림에서 수위의 기준은 각 수로의 바닥이며, 평상시에도 배수로 수위가 높으나 배수로의 유속이 관개수로의 유속보다 작기 때문에 배수량은 관개량 보다 적다.

그림 3은 일별 관개량과 배수량을 나타내고 있다. 무강우시 관개총량은 600.1mm, 지표배수량은 181.5mm으로 나타났다. 강우시기를 제외하고는 관개량은 비교적 고르게 분포하고 있는데 이는 관개수로의 공급량이 비교적 일정한 수준으로 유지되었기 때문이며, 측정치중 일최대 관개량은 16.4mm/day이었다. 녹명지구는 중간낙수는 실시하지 않은 것으로 조사 되었다.

배수량은 조사구역의 양 측면 배후가 낮은 산으로 둘러싸인 지형이어서 강우 후에는 강우량의 크기에 따라서 2, 3일 동안은 지하수의 흐름이 지표 유출량에 영향을 끼칠 것으로 판단되며, 관개, 배수량은 강우시와 강우유출의 영향이 있는 기간은 제외하고 산정하였다.

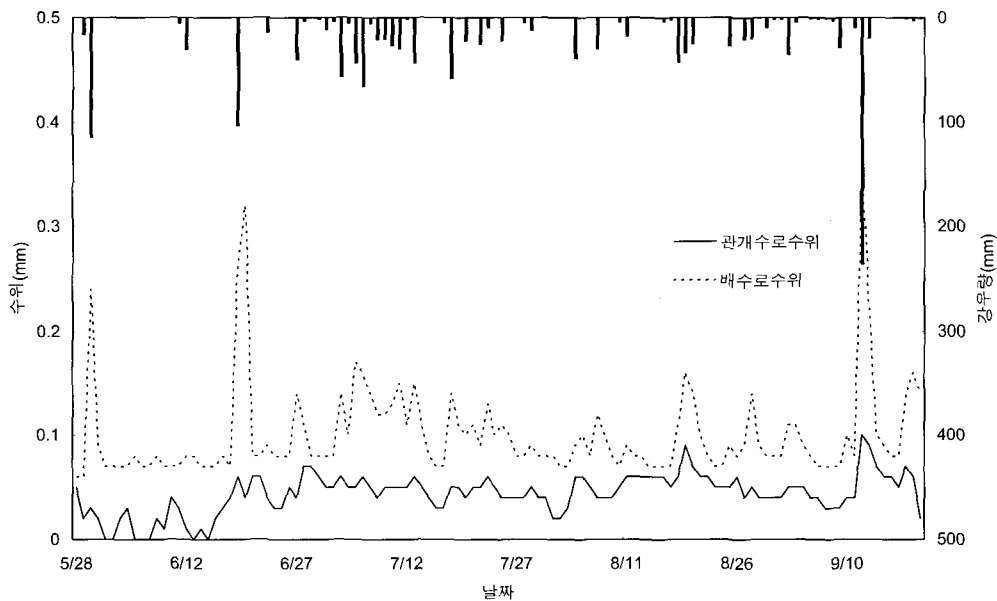


그림 2. 녹명지구 관개수로 및 배수로 수위

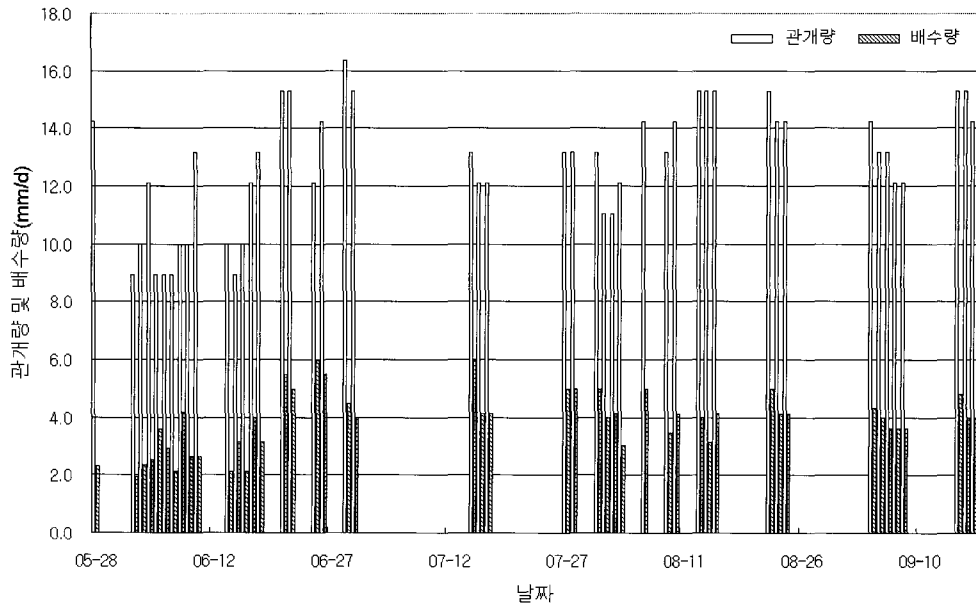


그림 3. 녹명지구의 일별 관개량 및 배수량

4.3 침투량 및 증발산량

일별 침투량과 감수심은 조사구역의 중류부에 2개소를 선정하여 각각 직경 200mm PVC 침투계와 직경 300mm PVC 감수심계를 설치하여 매일 오전 9시경에 수위변화를 관측하였다. 이들의 설치 깊이는 비의 뿌리 깊이를 고려하여 지표면 아래 20cm 깊이까지 매설하였다. 관측된 일별 감수심에서 침투량 관측치를 빼어서 증발산량을 계산하였다. 감수심계 안에는 표준 재식밀도를 고려하여 비 두포기를 심었다. 또한 시험지구 인근인 대구기상대의 기상자료를 이용하여 관개기간 중의 증발산량을 FAO 수정 Penman 식을 이용하였으며 Utah State University에서 개발한 REF-ET 모형을 이용하여 계산하였으며, 이를 관측치로부터 구한 증발산

량과 비교하였다.

침투량과 증발산량을 실측한 결과는 표 4와 같다. 조사기간(5월-9월)동안 대구기상대 자료를 이용한 잠재증발산량과 논증발산량을 나타낸 것으로 수정 Penman 공식으로 구한 잠재증발산량에 농림부에서 제시한 비의 작물계수를 곱하여 논외 증발산량을 구한 결과는 표 4에 제시하였다. 표 4에서 조사기간 (5-9월) 동안 녹명지구의 침투량은 141.0mm로써 일평균 값은 3mm/d로 나타났다으며, 실측 증발산량은 206.8mm로써 일평균값은 4.4mm/d로, 수정 Penman 공식으로 구한 증발산량은 286.0mm로써 일평균값이 6.1mm/d로 나타났다. 우리나라에서 일반적으로 알려진 바와 같이 수정 Penman법으로 계산한 값이 실측값보다 38% 더 크게 나타났다.

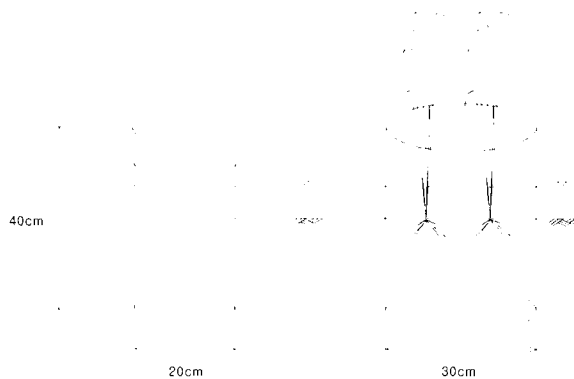


그림 4. 원통형 침투계 및 감수심계

4.4 수로손실량

수로손실량이란 수원으로부터 말단포장까지 송수하는 과정에서 증발 및 수로 침투에 의하여 손실되는 수량을 말한다. 수로손실량은 수로의 재료에 따라 다르나, 농림부 설계기준은 흙수로에서는 지저용수로는 0%로 보고, 지선용수로는 10~20%, 간선용수로는 15~25%이며, 콘크리트 간선용수로는 5~7%이고 관수로에서는 5%정도이다(농수산부, 1983). 본 연구에서는 시험구역 면적이 작아서 수로 길이 또한 짧아서 수로손실량을 무시하였다.

4.5 물수지 및 회귀율

물관리가 안정된 논 유역의 물수지는 식 (2)와 (3)과 같이 표시할 수 있다.

$$(R + G_1 + D_1) - (ET + G_2 + D_2) = \Delta S \quad (2)$$

$$D_1 - D_2 = ET - R + (G_2 - G_1) + \Delta S \quad (3)$$

여기서, R은 강우량(mm), ET는 증발산량(mm), G₁, G₂는 지하수 유입량과 유출량(mm), D₁, D₂는 지표수 유입량과 유출량(mm), 그리고 ΔS는 저류량의 변화(mm)를 나타낸다.

즉, 소비수량은 (G₂-G₁)에 많은 영향을 받는다. 이 (G₂-G₁)은 논외 침투량 중에서 지구 내의 배수로나 하

천 등으로 유출되지 않는 심층침투량에 해당된다. 식 (3)의 (G₂-G₁)을 P로 바꾸면 식 (4)와 같게 된다.

$$D_1 - D_2 = ET - R + P + \Delta S \quad (4)$$

여기서, P는 심층침투량이다.

무강우시에는 강우량 R=0이 되며 식 (4)는 다음 식으로 된다.

$$(D_1 - D_2) - ET = P + \Delta S \quad (5)$$

본 조사에서는 지표배수량(D₂)을 신속회귀수량으로 보고, 심층침투량(P)은 전량이 언젠가는 하천으로 유출한다고 보고 지연회귀수량으로 간주하였다. 따라서 신속회귀율은 식 (6), 지연회귀율은 식 (7)로 구하며 총회귀율은 신속회귀율과 지연회귀율을 합한 값이다. 시험 유역의 회귀율은 순별, 월별 및 관개기간 전체에 대하여 구하였다.

$$\text{신속회귀율} = \frac{D_2}{D_1} \times 100 (\%) \quad (6)$$

$$\text{지연회귀율} = \frac{P}{D_1} \times 100 (\%) \quad (7)$$

표 4. 청도 녹명지구의 무강우시 물수지분석

(단위 : mm)

월	순	관개량	배수량	침투량	증발산량		회귀율 (%)			분석기간
					실측값	수정 Penman법	신속	지연	계	
5	하	14.2	2.3	3.0	4.0	5.3	16.2	21.1	37.3	28일
6	상	90.9	24.9	27.0	45.2	49.7	27.4	29.7	57.1	2~10일
	중	54.2	14.5	15.0	22.3	22.8	26.8	27.7	54.5	14~18일
	하	88.6	30.3	18.0	26.9	26.7	34.2	20.3	54.5	21~22, 25~26, 29~30일
7	상	-	-	-	-	-	-	-	-	장마기
	중	37.4	14.3	9.0	10.5	23.6	38.2	24.1	62.3	15~17일
	하	39.5	14.9	9.0	9.5	22.8	37.7	22.8	60.5	27~28, 31일
8	상	75.9	23.7	18.0	21.0	54.0	31.2	23.7	54.9	1~3, 6, 9~10일
	중	45.9	11.3	9.0	15.5	22.6	24.6	19.6	44.2	13~15일
	하	43.8	13.3	9.0	16.0	22.7	30.4	20.5	50.9	22~24일
9	상	64.8	19.2	15.0	16.9	18.5	29.6	23.1	52.7	4~8일
	중	44.9	12.8	9.0	19.0	17.3	28.5	20.0	48.5	15~17일
합 계		600.1	181.5	141.0	206.8	286.0	30.2	23.5	53.7	47일

주: 지연회귀량은 침투량의 100%로 가정

표 4는 물수지 분석 및 회귀율 산정결과를 보여준다. 무강우시 총 관개량은 600.1mm, 지표배수량은 181.5mm, 침투량은 141.0mm, 그리고 증발산량은 206.8mm이었다. 신속회귀율은 30.2%, 지연 회귀율은 23.5%로 전체 회귀율은 53.7%로 나타났다. 순별 최대 회귀율은 7월 중순에 62.3%로 나타났다.

5. 요약 및 결론

낙동강수계의 농업용수의 회귀수량을 조사하기 위하여 2003년 영농기(5월~9월)에 현장관측을 수행하였다. 낙동강수계의 청도군 각남면 녹명지구의 논 지구를 선정하고 수문모니터링을 실시하여 물수지를 분석하고 회귀율을 산정하였다. 지연회귀율은 침투량의 100%로 가정하였다. 관측기간인 2003년도에는 강우회수와 강우량이 예년에 비해 매우 많았기 때문에 무강우시의 물관리가 안정된 기간이 비교적 짧았다.

무강우시 물수지 분석결과 관개량은 600.1mm, 지표배수량은 181.5mm, 침투량은 141.0mm, 증발산량은 206.8mm이었으며 일평균 증발산량은 4.4mm/d 이었다. 무강우시 회귀율 분석결과 신속회귀율은 30.2%, 지연 회귀율은 23.5%로 전체 회귀율은 53.7%로 나타났다.

본 조사에서는 소규모 시험지구에 대한 1년 동안의 관측자료를 이용하여 농업용수 회귀율을 산정하였다. 본 조사기간에는 예년에 비해 매우 많은 강우가 있었기 때문에 조사 결과도 예년과는 많은 차이가 날 수도 있다. 따라서 보다 신뢰성 있는 자료를 얻기 위해서는 앞으로 장기간에 걸친 조사가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 유역조사사업의 일환으로 주식회사 유신코퍼레이션을 통하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부, 수자원공사, 한국건설기술연구원 (1997). 수
자원계획의 최적화연구(I): 용수수요 추정시스템
개발연구.
건설교통부 대전지방국토관리청 (1999). 금강수계 하천
수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서.
건설교통부 부산지방국토관리청 (1997). 낙동강수계 하
천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서.
건설교통부 서울지방국토관리청 (1998). 한강수계 하천
수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정보고서.

건설교통부 익산지방국토관리청 (1999). 영산강·섬진
강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산
정보고서.

김태철, 김병천, 이성희 (2002). "논 관개용수 절수와 유
역 생태계 보전의 양면성." 2002년도 한국농촌환경
연구회 학술심포지움 논문집. 한국농촌환경연구회.
pp.1-12.

농림부 (1998). 농업생산기반정비사업계획설계기준 (관
개편). 562pp.

농림부, 농어촌진흥공사 (1999). 농촌용수 수요량조사
종합보고서. 222pp.

농수산부 (1983). 농지개량사업계획설계기준 (관개편).

임상준 (2000). 농업유역의 논 관개회귀수량 추정모형의
개발. 서울대학교 박사학위논문, 120pp.

정상옥 (2001). 물수지분석 기법에 의한 논에서의 회귀
율 조사분석. 교육부 학술진흥재단 연구결과보고서,
31pp.

정상옥, 손성호 (2001). "물수지분석 기법에 의한 논에서
의 회귀율 조사분석." 한국농공학회지, 한국농공학
회, 제43권, 제2호, pp. 59-68.

정운태, 이근후, 이인영 (1998). "양수장 용수공급 논 지
대의 물수지." 한국농공학회 학술발표회논문집, 한
국농공학회, pp. 1-7.

주식회사 도화종합기술공사 (2002). 북한강 및 팔당댐
하류 유역조사 학술용역 보고서. 강원대학교 부속
환경연구소, 123pp.

주식회사 유신코퍼레이션 (2004). 낙동강 유역조사중
농업용수 회귀수량 현장 표본조사 보고서. 경북대
학교 농업과학기술연구소, 109pp.

최중대, 최예환 (2002). "북한강 유역 춘천지역의 논 농
업용수 회귀율 산정." 한국관개배수. 한국관개배수
위원회, 제9권, 제2호, pp. 68-77.

한국건설기술연구원 (1997). 낙동강유역 농업용수 회귀
율조사(경상북도). 경북대학교 농업과학기술연구소,
39pp.

한국수자원공사 (1990). 낙동강유역 조사보고서.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M.
(1998). *Crop evapotranspiration, Guidelines for
computing crop water requirements*. FAO
Irrigation and Drainage Paper 56. Food and
Agriculture Organization of the United Nations,
Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

Boldt, A.L., Eisenhauer, D.E., Martin, D.L. and Wilmes,
G.J. (1999). *Water conservation practices for a
river valley irrigated with groundwater*.

- Agricultural Water Management Elsevier. 38: 235-256.
- Council for Agricultural Science and Technology (1988). *Effective use of water in irrigated agriculture*. Report No. 113, USA.
- Doorenbos. J. and Pruitt. W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Ito, Y., Shiraishi, H. and Oonishi, R. (1980). "Numerical estimation of return flow in river basin." *JARQ*, Vol. 14, No. 1, pp. 24-30.
- Oad, R., Lusk, K. and Podmore, T. (1997). "Consumptive use and return flows in urban lawn water use." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 1, pp. 62-69.
- Solley, W.B., Pierce, R.P. and Perlman, H.A. (1998). *Estimated use of water in the United States in 1995*. U.S. Geological Survey Circular 1200.
- Utah State University (1991). *REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software*. 40pp.
- Yashima, S. (1982). "Water balance in low and flat paddy land-A case study in the Muda irrigation project area, Malaysia." *JARQ*, Vol. 16, pp. 151-157.
- (논문번호:04-29/접수:2004.03.20/심사완료:2004.06.04)